

**Translation of claims 1 to 3 of the document**

**DE-A3437862**

1. An ultrasonic transducer made of a piezoelectric composite material (100), characterized in that  
a plurality of ceramic piezoelectric poles (101) is embedded in a plate-like polymer matrix (102) perpendicular to the plate surface; and  
that the ratio of the volume of said piezoelectric poles (101) to that of the entire piezoelectric composite material (100) is in the range of from 0.15 to 0.75, and the height (h) of each of said piezoelectric poles (101) is larger than the spacing (d) between two adjacent piezoelectric poles.
2. Process for manufacturing a piezoelectric composite material, said process being characterized by the following steps:
  - (a) forming of grooves (304) in the front surface of a piezoelectric ceramic plate (301), wherein the depth of the grooves (304) is smaller than the thickness of the plate (301);
  - (b) filling the grooves (304) formed with a polymer (307);
  - (c) turning the piezoelectric ceramic plate (301);
  - (d) forming further grooves (309) on the back surface of the piezoelectric ceramic plate (301), whereby said grooves (309) reach the corresponding grooves (304) on the front surface of the plate; and
  - (e) filling the grooves (309) on the back surface of the plate with a polymer (310).
3. Process for manufacturing a piezoelectric composite material, characterized by the following steps:
  - (a) forming grooves (304) on the front surface of a piezoelectric ceramic plate (301), whereby the depth of the grooves (304) is smaller than the thickness of the plate (301);
  - (b) filling the grooves (304) formed with a polymer (307); and

- (c) grinding down or removing the back surface of the piezoelectric ceramic plate (301) in such a way that the polymer (307) filled into the grooves is exposed on the backside surface of the piezoelectric ceramic plate (301).

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 3437862 A1**

⑳ Aktenzeichen: P 34 37 862.6  
㉔ Anmeldetag: 16. 10. 84  
㉕ Offenlegungstag: 23. 5. 85

⑤① Int. Cl. 3:  
**H04R 17/00**  
A 61 B 10/00  
H 01 L 41/22  
C 04 B 39/00  
C 04 B 35/49

DE 3437862 A1

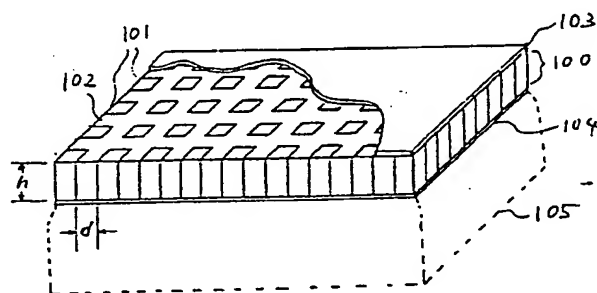
- ③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
17.10.83 JP P192415/83 02.11.83 JP 204837/83
- ⑦① Anmelder:  
Hitachi, Ltd.; Hitachi Medical Corp., Tokio/Tokyo, JP
- ⑦④ Vertreter:  
Strehl, P., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.;  
Schübel-Hopf, U., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.;  
Schulz, R., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.- u.  
Rechtsanw., 8000 München

- ⑦② Erfinder:  
Takeuchi, Hiroshi, Matsudo, Chiba, JP; Nakaya,  
Chitose, Hinode, Tokio/Tokyo, JP; Katakura,  
Kageyoshi, Tokio/Tokyo, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Ultraschallwandler und Verfahren zu seiner Herstellung**

Für einen Ultraschallwandler findet ein piezoelektrischer Verbundwerkstoff (100) Anwendung, in dem eine Anzahl von piezoelektrischen Polen (101) aus einer piezoelektrischen Keramik in einer plattenförmigen Polymermatrix (102) senkrecht zur Plattenoberfläche angeordnet ist. Das Volumenverhältnis der piezoelektrischen Pole (101) zu dem gesamten Verbundwerkstoff ist auf einen Wert im Bereich von 0,15 bis 0,75 festgelegt. Der Abstand (d) zwischen zwei benachbarten piezoelektrischen Polen (101) ist dabei kleiner als die Dicke (d) der Polymerplatte (102), wodurch sich ein Wandler ergibt, der eine höhere Empfindlichkeit als ein herkömmlicher Wandler mit einer homogenen piezoelektrischen Keramikplatte hat.



DE 3437862 A1

HITACHI, LTD. +

HITACHI MEDICAL CORPORATION

DEA-26865

16. Oktober 1984

Ultraschallwandler und Verfahren zu seiner Herstellung

Patentansprüche:

1. Ultraschallwandler aus einem piezoelektrischen Verbundwerkstoff (100),  
dadurch gekennzeichnet,  
daß eine Vielzahl von keramischen piezoelektrischen Polen (101)  
5 in einer plattenähnlichen Polymermatrix (102) senkrecht zur  
Plattenoberfläche eingebettet ist, und  
daß das Volumenverhältnis der piezoelektrischen Pole (101)  
zu dem gesamten piezoelektrischen Verbundwerkstoff (100) in  
einem Bereich von 0,15 bis 0,75 liegt, und die Höhe (h) je-  
10 des piezoelektrischen Poles (101) größer als der Abstand (d)  
zwischen zwei benachbarten piezoelektrischen Polen ist.
2. Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Verbundwerkstoffes,  
gekennzeichnet durch folgende Schritte:  
15 (a) Ausbilden von Rinnen (304) in der Vorderfläche einer piezo-

elektrischen keramischen Platte (301), wobei die Tiefe der Rinnen (304) kleiner als die Dicke der Platte (301) ist;

- 5 (b) Füllen der ausgebildeten Rinnen (304) mit einem Polymer (307);
- (c) Wenden der piezoelektrischen keramischen Platte (301);
- (d) Ausbilden von weiteren Rinnen (309) in der Rückfläche der piezoelektrischen keramischen Platte (301), wobei diese Rinnen (309) bis zu den entsprechenden Rinnen  
10 (304) in der Platten-Vorderfläche reichen; und
- (e) Füllen der Rinnen (309) in der Platten-Rückfläche mit einem Polymer (310).

3. Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Verbundwerkstoffes,

15 g e k e n n z e i c h n e t durch folgende Schritte:

- (a) Ausbilden von Rinnen (304) in der Vorderfläche einer piezoelektrischen keramischen Platte (301), wobei die Tiefe der Rinnen (304) kleiner als die Dicke der Platte (301) ist;
- 20 (b) Füllen der ausgebildeten Rinnen (304) mit einem Polymer (307); und
- (c) Abschleifen oder Abtrennen der Rückfläche der piezoelektrischen keramischen Platte (301), so daß das eingefüllte Polymer (307) an der rückseitigen Oberfläche  
25 der piezoelektrischen keramischen Platte (301) freigelegt wird.

Beschreibung:

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Ultraschallwandler zur Verwendung in einem Ultraschall-Diagnosegerät oder ähnlichem, sowie Verfahren zu seiner Herstellung.

5      Bislang wurden als Materialien für piezoelektrische Vibratoren in Ultraschallwandlern vielfach Zirkonbleititanat (PZT)-Keramiken verwendet. Diese piezoelektrischen Keramiken weisen jedoch folgende Nachteile auf:

- 10      (a) Eine akustische Anpassungsschicht muß für Diagnosezwecke besonders ausgelegt werden, da die akustische Impedanz, verglichen mit dem menschlichen Körper, eine beträchtliche Höhe aufweist;
- 15      (b) da die dielektrische Konstante relativ groß ist, wird eine piezoelektrische Spannungskonstante  $g$  so klein, daß nach dem Empfang von Ultraschallwellen keine hohe Spannung erzeugt werden kann; und
- 20      (c) eine Krümmungsanpassung an die Form des menschlichen Körpers ist bei derartigen Keramiken schwierig.

25      Zur Lösung dieser Probleme wurden sogenannte piezoelektrische Verbundwerkstoffe vorgeschlagen, bei denen Polymere mit piezoelektrischen Substanzen verbunden sind. Newnham et al. zeigten beispielsweise in der Zeitschrift "Material Research Briden", Band 13, 1978, auf den Seiten 525 bis 536, daß eine Verbundstruktur wirkungsvoll ist, in der eine Anzahl von PZT-Polen in ein Polymer eingebettet ist. Tatsächlich führt ein Verbundaufbau aus PZT und Polymeren, wie z.B. Silicongummi oder Epoxidharz, zu einem Material, das eine niedrige akustische Impedanz und eine hohe piezoelektrische Spannungskonstante  $g$  aufweist.

- In derartigen piezoelektrischen Verbundwerkstoffen ändern sich die piezoelektrischen Eigenschaften in großem Umfang in Abhängigkeit vom Volumenverhältnis der piezoelektrischen Substanz zu dem Polymer. Dieses Verhalten wird weiter unten im  
5 einzelnen beschrieben. Es ist jedoch zu erwarten, daß die piezoelektrischen Eigenschaften ebenso in Abhängigkeit von der Größe und Anordnung der piezoelektrischen Pole schwanken, selbst wenn das Volumenverhältnis der piezoelektrischen Substanz gleich bleibt.
- 10 Die generelle Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist darin zu sehen, einen Ultraschallwandler aus einem Verbundwerkstoff anzugeben, mit dem die beschriebenen, dem Stand der Technik anhaftenden Nachteile zumindest teilweise überwunden werden.
- 15 Eine spezielle Aufgabe der Erfindung liegt darin, einen Ultraschallwandler zu schaffen, dessen Gesamt-Empfindlichkeit beim Senden und Empfangen im Vergleich zu den herkömmlichen Wandlern mit einer PZT-Keramikplatte deutlich erhöht ist.
- 20 Weiterhin ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Verfahren zur Herstellung von piezoelektrischen Verbundwerkstoffen anzugeben, die eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen und für die Massenproduktion geeignet sind.
- 25 Ein erfindungsgemäßer Ultraschallwandler ist aus einem piezoelektrischen Verbundwerkstoff hergestellt, in dem eine Anzahl von keramischen piezoelektrischen Polen in einer plattenähnlichen Polymermatrix senkrecht zur Plattenoberfläche eingebettet sind. Das Volumenverhältnis der piezoelektrischen Pole liegt dabei in einem Bereich von 0,15 bis 0,75, und die Höhe eines jeden piezoelektrischen Poles ist größer als der Abstand zwischen zwei benachbarten Polen.  
30

Weitere Merkmale der vorliegenden Erfindung werden aus der Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele deutlich, die unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen erfolgt. In den Zeichnungen zeigen:

- 5     Fig. 1    eine perspektivische Ansicht einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 2  
       und 3   Kennlinien der Empfindlichkeit des Wandlers;
- Fig. 4A  
10    bis 4C,  
       Fig. 5A  
       bis 5H,  
       Fig. 6A  
       und 6B,
- 15    Fig. 7A  
       bis 7G   Verfahrensschritte zur Herstellung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und
- Fig. 8A  
       bis 8E,  
20    Fig. 9,  
       Fig. 10A  
       bis 10B   Verfahrensschritte zur Herstellung einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 1 zeigt den Aufbau einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Ein piezoelektrischer Verbundwerkstoff 100, der  
25    durch ein später beschriebenes Verfahren hergestellt wird, ist so aufgebaut, daß eine Anzahl von keramischen piezoelektrischen Polen in einer Polymermatrix 102 mit konstanten Abständen  $d$  angeordnet ist. Sowohl auf der oberen als auch auf der unteren  
30    Oberfläche des piezoelektrischen Verbundwerkstoffs 100 ist eine Elektrode 103 bzw. 104 angeordnet, wodurch ein Wandler aufgebaut wird.

PZT ( $\text{Pb}(\text{TiZr})\text{O}_3$ )-Keramiken oder Bleititanat ( $\text{PbTiO}_3$ )-Keramiken, die in Längsrichtung polarisiert sind, dienen vorzugsweise als  
35    Material für die piezoelektrischen Pole 101. Als Polymer 102 wird insbesondere Silicongummi, Polyurethan oder Epoxidharz verwendet. Die Elektroden sind vorzugsweise aus Chrom-Gold-



Filmen gebildet; sie können jedoch ebenso aus anderen geeigneten, elektrisch leitfähigen Filmen gefertigt sein.

Fig. 2 zeigt die Meßergebnisse der Empfindlichkeits-Schwankung als Funktion des Abstandes  $d$  zwischen den piezoelektrischen Polen 101 bei dem in Fig. 1 dargestellten Wandler, der unter Verwendung von PZT-Keramiken und Silicongummi hergestellt ist. Die Messungen wurden mit vier Wandlertypen durchgeführt, die jeweils eine Fläche von  $10 \text{ mm}^2$  und eine Dicke  $h$  von  $0,3 \text{ mm}$  aufwiesen. Der Abstand zwischen den piezoelektrischen Polen betrug dabei  $0,15$ ,  $0,2$ ,  $0,3$  bzw.  $0,4 \text{ mm}$ . Das Volumenverhältnis der piezoelektrischen Pole 101 zum gesamten piezoelektrischen Verbundwerkstoff wurde für jeden der Wandler auf  $25\%$  festgesetzt. Jeder Wandler hatte eine Resonanzfrequenz von etwa  $4,5 \text{ MHz}$  bei longitudinalen Schwingungen in Richtung der Tiefe.

Zu Vergleichszwecken sind in Fig. 2 daneben (gestrichelt) die Meßergebnisse für einen herkömmlichen Ultraschallwandler dargestellt, der unter Verwendung einer homogenen PZT-Keramik hergestellt wurde und dieselbe Apertur und Resonanzfrequenz aufweist. Wie aus Fig. 2 deutlich wird, ist die Sende- und Empfangs-Empfindlichkeit des erfindungsgemäßen Wandlers höher als die des herkömmlichen Wandlers, wenn der Abstand  $d$  zwischen den Polen kleiner als die Dicke  $h$  der Keramik ist; sie fällt jedoch steil ab, wenn  $d$  über  $h$  hinausgeht. Das ist der Tatsache zuzuschreiben, daß im Falle von  $d < h$  das Polymermaterial den aufgenommenen Druck wirkungsvoll auf die piezoelektrischen Pole überträgt, so daß das Polymer und die piezoelektrischen Pole in Richtung der Tiefe zusammen in Schwingung versetzt werden, wohingegen im Falle von  $d > h$  der Druck nicht wirkungsvoll übertragen wird, so daß das Polymer und die piezoelektrischen Pole nicht zusammen schwingen.

Fig. 3 zeigt die Beziehung zwischen dem Volumenverhältnis der PZT-Keramik und der Sende- und Empfangs-Empfindlichkeit. Zu

Vergleichszwecken sind auch in Fig. 3 (gestrichelt) die Meß-  
ergebnisse dargestellt, die sich auf einen herkömmlichen Ul-  
traschallwandler beziehen, der unter Verwendung einer homoge-  
nen PZT-Keramikplatte mit derselben Apertur hergestellt wurde.  
5 Wie aus Fig. 3 deutlich wird, ist die Gesamt-Sende- und  
Empfangs-Empfindlichkeit des erfindungsgemäßen Wandlers höher  
als die des herkömmlichen Ultraschallwandlers mit einer homo-  
genen PZT-Keramikplatte, falls das Volumenverhältnis in einem  
Bereich zwischen 0,15 und 0,75 liegt. Das heißt, die Bedin-  
10 gung  $d < h$  ist zur Erzielung einer hohen Empfindlichkeit zwar  
notwendig aber nicht hinreichend, falls das Volumenverhältnis  
der PZT-Keramik kleiner als 0,15 oder größer als 0,75 ist.

Wie oben beschrieben, weist der aus einem Verbundwerkstoff  
hergestellte Ultraschallwandler nach Fig. 1 unter folgenden  
15 Bedingungen eine hohe Empfindlichkeit auf:

- (1) Das Volumenverhältnis der piezoelektrischen Pole zu dem  
gesamten piezoelektrischen Verbundwerkstoff liegt in einem  
Bereich von 0,15 bis 0,75, und
- (2) die piezoelektrischen Pole sind mit einem Abstand  $d$  zuein-  
20 ander angeordnet, der kleiner als ihre Höhe  $h$  ist.

Wie in Fig. 1 gestrichelt dargestellt, ist es darüberhinaus  
möglich, ein beispielsweise aus Epoxidharz hergestelltes Trä-  
gerelement auf einer Oberfläche des beidseitig mit Elektroden  
versehenen piezoelektrischen Verbundwerkstoffes anzubringen,  
25 wobei die andere Oberfläche für die Übertragung und den Empfang  
von Ultraschallwellen verwendet wird.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 4A bis 4C wird ein Herstellungs-  
verfahren für das piezoelektrische Verbundmaterial 100 nach der  
oben dargestellten Ausführungsform beschrieben.

30 Im Verfahrensschritt nach Fig. 4A wird eine flache piezoelek-  
trische Keramikplatte 201 unter Anwendung eines Klebers 202,

beispielsweise eines bei Erwärmung erweichenden Wachses, wieder-abnehmbar auf eine Schneideunterlage 203 aufgebracht. Wie in Fig. 4B gezeigt, wird eine Anzahl von Rinnen 204 ausgebildet, die in Längs- und in Querrichtung über die piezoelektrische Keramikplatte verlaufen, wodurch eine Anzahl von Elementen 205 hergestellt wird. Im nächsten Schritt wird in jede Rinne ein Polymer 206 eingefüllt und verfestigt. Daraufhin wird die entstandene Anordnung von der Schneideunterlage 203 abgenommen, so daß man den piezoelektrischen Verbundwerkstoff 100 nach Fig. 1 erhält.

Der obige Herstellungsprozeß weist zwar den Vorteil einer verringerten Anzahl von Verfahrensschritten auf, er hat jedoch folgende Nachteile:

- (1) Die Elemente 205 neigen zum Ab- oder Ausbrechen, da die piezoelektrische Keramikplatte tief eingeschnitten wird; und
- (2) die Rinnen 204 werden oftmals auch in die Unterlage 203 eingeschnitten, so daß das Polymer 206 auf der Unterlage 203 haftet. In diesem Fall wird es schwierig, den piezoelektrischen Verbundwerkstoff von der Unterlage 203 abzunehmen, ohne dabei einige der Elemente 205 abzubrechen. Weiterhin ist es schwierig, den Kleber 202 nach dem Abnehmen zu entfernen.

Ein verbesserter Herstellungsprozeß zur Überwindung dieser Nachteile ist in den Fig. 5A bis 5H dargestellt. Wie in Fig. 5A gezeigt, wird zunächst eine piezoelektrische Keramikplatte 301 wieder-aufnehmbar unter Verwendung eines Wachses 302 auf eine Schneideunterlage 303 aufgebracht. Anschließend werden, wie in Fig. 5B gezeigt, in der Keramikplatte Rinnen 304 ausgebildet, deren Tiefe etwa gleich der Hälfte der Dicke  $h$  der Platte 301 ist, um die Platte 301 in Längs- und in Querrichtung einzuschneiden, ohne sie zu durchdringen. Bei diesem Schneideschritt werden auf der Platte 301 die Referenzlinien

305 und 306 vorgesehen. Fig. 5C zeigt eine Draufsicht auf die Anordnung nach Fig. 5B. Wie in Fig. 5D dargestellt, wird anschließend ein Polymer 307, wie z.B. Polyurethan oder Epoxidharz, in die Rinnen 304 eingefüllt und verfestigt. Anschließend wird das Wachs 302 erweicht, der Vibrator umgedreht und, wie in Fig. 5E gezeigt, unter Verwendung eines Wachses 308 oder ähnlichem erneut auf der Schneideunterlage 303 angebracht. Anschließend werden, wie in Fig. 5F gezeigt, unter Verwendung der Bezugslinien 305 und 306 auf der Rückfläche der Platte 301 weitere Rinnen 309 so eingeschnitten, daß sie bis zu dem Polymer 307 reichen. Im Verfahrensschritt nach Fig. 5G wird in diese Rinnen 309 ein Polymer eingefüllt und verfestigt, um auf der Rückseite des Wandlers den Polymerbereich 310 auszubilden. Nach dem Erschmelzen des Wachses 308 wird die gesamte Anordnung von der Unterlage 303 abgenommen, um den piezoelektrischen Verbundwerkstoff nach Fig. 1 zu erhalten. Für dieses Verfahren ist ein Polymer 307 mit einer derartigen Qualität erforderlich, daß die maschinelle Bearbeitbarkeit beim Ausbilden der Rinnen 309 nicht verschlechtert wird. Wenn das in die Rinnen 304 eingebrachte Füllmaterial weich ist, wie z.B. Silocongummi, treten Bearbeitungsprobleme auf. Deshalb wird nach diesem Verfahren beim Schritt 5B Wachs oder ähnliches in die Rinnen 304 gefüllt. Die sich ergebende piezoelektrische Platte wird umgedreht und erneut auf der Unterlage 303 befestigt (entsprechend Fig. 5E). Nach dem Einschneiden der Rinnen 309, wie in Fig. 5F gezeigt, wird in diese Silicongummi eingefüllt und darin verfestigt. In diesem Beispiel bezeichnet das Bezugszeichen 307 in Fig. 5G Wachs und das Bezugszeichen 310 Silicongummi. Im nächsten Schritt wird der Vibrator von der Unterlage 303 abgenommen (die einzelnen Elemente sind zu diesem Zeitpunkt mit Silicongummi aneinander befestigt), und das Wachs in den Rinnen 304 wird ausgewaschen, wodurch sich der Aufbau nach Fig. 5H ergibt. Abschließend wird Silicongummi oder ähnliches in die jetzt wachsfreien Rinnen 311 eingefüllt und darin verfestigt, wodurch sich der piezoelektrische Verbundwerkstoff 100 nach Fig. 1 ergibt.

Es ist anzumerken, daß die Polymere 307 und 310 nicht unbedingt aus dem gleichen Material bestehen müssen. Beispielsweise ist es möglich, daß der Füllstoff 307 Polyurethan und der Füllstoff 310 Silicongummi ist.

- 5 Ein alternatives Herstellungsverfahren für den piezoelektrischen Verbundwerkstoff 100 besteht darin, die piezoelektrische Keramikplatte nach dem Verfahrensschritt 5D von der Schneideunterlage 303 abzunehmen, wie es in Fig. 6A gezeigt ist, und anschließend die piezoelektrische Keramikplatte 301 von der  
10 Grundfläche bis zu einer in Fig. 6B gezeigten Ebene 312 abzuschleifen oder sie entlang der Ebene 312 sonstwie abzutrennen, um das Polymer 307 freizulegen.

- Nach dem in den Fig. 5A bis 5H oder den Fig. 6A und 6B gezeigten Herstellungsverfahren erreichen die Rinnen, in die das  
15 Polymer eingefüllt wird, nicht die Schneideunterlage, woraus sich der Vorteil ergibt, daß die mit dem Polymer gefüllte piezoelektrische Keramikplatte leicht von der Schneideunterlage abgenommen werden kann.

- In jedem der in den Fig. 4A bis 4C, den Fig. 5A bis 5H und  
20 den Fig. 6A bis 6B gezeigten Herstellungsprozesse wird vorzugsweise im voraus die obere und untere Oberfläche der piezoelektrischen Keramikplatte 201 bzw. 301 mit einem weiteren Polymer beschichtet, das durch Spülen leicht entfernt werden  
25 kann, um zu verhindern, daß das Polymer auf den oberen und unteren Oberflächen der piezoelektrischen Pole haftet.

- Die Fig. 7A bis 7G verdeutlichen einen weiteren erfindungsgemäßen Herstellungsprozeß für den piezoelektrischen Verbundwerkstoff 100 nach Fig. 1. Eine piezoelektrische Keramikplatte 501  
30 wird unter Verwendung eines Wachses 502 oder ähnlichem abnehmbar auf einer Schneideunterlage 503 angebracht (Fig. 7A). Die Platte, d.h. ein Vibrator, wird sorgfältig entlang von Linien

504 geschnitten, um eine Vielzahl von Vibratorteilen 505 zu bilden, die jeweils die passende Breite haben (Fig. 7B). Anschließend werden die Vibratorteile 505 abgenommen und anschließend erneut unter Verwendung eines Wachses 507 oder  
5 ähnlichem wieder-abnehmbar mit Zwischenräumen auf einer Schneideunterlage 506 befestigt, wie in Fig. 7C gezeigt. In jedes Vibratorteil 505 werden Rinnen 508 jeweils mit einer Breite  $d$  eingeschnitten. Anschließend wird, wie in Fig. 7D dargestellt, ein Polymer 509 in die entsprechenden Rinnen  
10 gefüllt. Danach werden die Vibratorteile 505 von der Unterlage abgenommen, womit man die in Fig. 7E gezeigten Teile 510 erhält. Zu diesem Zeitpunkt sind die einzelnen Elemente 511 durch das Polymer 509 miteinander verbunden. Anschließend werden die Teile 510 mit einem gegenseitigen Abstand  $d$   
15 auf einer Unterlage 512 angeordnet, wie in Fig. 7F gezeigt. Entsprechend Fig. 7G wird ein Polymer 514 in jeden Zwischenraum 513 gefüllt, und die Unterlage 512 anschließend von der sich ergebenden Struktur abgelöst, womit man den piezoelektrischen Verbundwerkstoff erhält. Die Polymere 509 und 510  
20 können dabei verschiedene Materialien sein.

Beim oben beschriebenen Herstellungsverfahren werden vorzugsweise auf der Oberfläche der Unterlage 512 im voraus flache Rinnen gebildet, um die Vielzahl der Teile 510 beim Verfahrensschritt nach Fig. 7F wirkungsvoll anzuordnen.

25 Das in den Fig. 7A bis 7G gezeigte Herstellungsverfahren hat den Vorteil, daß die Möglichkeit des Bruchs der piezoelektrischen Keramik beim Einschneiden von Rinnen verringert wird, da ja keine Rinnen zum Einfüllen eines Polymers gebildet werden müssen.

30 Wird bei dem so erhaltenen piezoelektrischen Verbundwerkstoff ein flexibles Polymer verwendet, wird auch der Verbundwerkstoff flexibel. Damit ist es möglich, auf einfache Weise einen Wandler

mit einer beliebigen Form, wie z.B. einer konkaven Oberfläche, zu bilden. In den Fig. 8A bis 8F ist beispielhaft ein Herstellungsverfahren für einen Wandler mit einer kreisförmigen konkaven Oberfläche dargestellt.

- 5 Wie in Fig. 8A gezeigt, wird zuerst ein piezoelektrischer Verbundwerkstoff 401 in Form eines Kreises vorbereitet. Diesen kreisförmigen Verbundwerkstoff erhält man durch Schneiden des piezoelektrischen Verbundwerkstoffes, wie er sich aus den in den Fig. 4A bis 4C, 5A bis 5H, 6A und 6B oder 7A bis 7G dar-
- 10 gestellten Herstellungsverfahren ergibt. Daneben läßt sich ein kreisförmiger piezoelektrischer Verbundwerkstoff direkt erhalten, wenn man im Verfahrensschritt nach Fig. 4A eine kreisförmige piezoelektrische Keramikplatte 301 verwendet. In den Fig. 8A bis 8F sind mit den Bezugszeichen 402 eine
- 15 Polymermatrix und mit den Bezugszeichen 403 piezoelektrische Pole dargestellt. Wie in einer Schnittansicht in Fig. 8B gezeigt, wird der piezoelektrische Verbundwerkstoff 401 unter Verwendung eines Harzes (Wachs oder ähnlichem), das bei Erwärmung erweicht wird, auf die Oberfläche eines sphärischen
- 20 Elementes 404 aufgebracht, wobei das sphärische Element 404 dieselbe Krümmung wie die gewünschte konkave Oberfläche aufweist.

- Im nächsten Schritt wird auf der oberen Fläche des piezoelektrischen Verbundwerkstoffes 401 eine Elektrode 406 mittels
- 25 Siebdruck, Aufdampfen oder ähnlichem ausgebildet. Um dabei zu verhindern, daß die Elektrode auch auf den Seitenflächen des Verbundwerkstoffes 401 gebildet wird, werden die Seitenflächen vorzugsweise mit Wachs abgedeckt. Anschließend wird mit einer elektrisch leitfähigen Paste mit dem sphärischen Element 404
- 30 eine Signalleitung 407 verbunden und, wie in einer Schnittansicht in Fig. 8C gezeigt, ein Trägerelement 408 auf der Elektrode 406 angebracht. Das in der gewünschten Form ausgebildete Trägerelement 408 kann auf der Elektrode 406 alternativ unter Verwendung eines Klebers befestigt werden. Wird

darüberhinaus als Elektrode 406 eine haftfähige und elektrisch leitfähige Paste verwendet, kann die Elektrode selbst als Haftmittel dienen. Im nächsten Schritt wird das sphärische Element 404 unter Erwärmung von einer Vorderfläche 409 des piezoelektrischen Verbundwerkstoffes 401 abgenommen, womit sich der in Fig. 8D dargestellte Zustand ergibt. Wie in einer Schnittansicht in Fig. 8E gezeigt, wird danach auf der Vorderfläche 409 mittels Siebdruck, Aufdampfen oder ähnlichem eine weitere Elektrode 410 ausgebildet. In diesem Beispiel dient die Elektrode 410 als eine Masse-Elektrode. Mit dieser Elektrode 410 wird anschließend ein Massekabel 411 verbunden. Wenn man den Wandler in diesem Zustand beläßt, besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, daß sich die Elektrode 410 ablöst. Aus diesem Grund wird auf der Vorderseite ein Film 412 ausgebildet, der eine Schutzwirkung für die Elektrode 410 hat. Nach Durchführung dieses Herstellungsverfahrens ergibt sich ein konkaver Wandler, wie er in Fig. 8F gezeigt ist.

Bei der Durchführung des Herstellungsverfahrens für den kreisförmigen Wandler ist vorzugsweise darauf zu achten, daß der Wandler streng symmetrisch wird. Insbesondere wird der piezoelektrische Verbundwerkstoff vorzugsweise in Kreisform zugeschnitten, wobei der Mittelpunkt so liegt, daß er, wie in Fig. 9 gezeigt, dem Mittelpunkt A eines piezoelektrischen Poles entspricht, oder daß er auf einen Punkt B fällt, der von den vier umgebenden piezoelektrischen Polen gleich weit entfernt ist.

Wird das in den Fig. 5A bis 5H gezeigte Verfahren zur Herstellung des piezoelektrischen Verbundwerkstoffes angewandt, und findet dabei von Anfang an eine scheibenförmige piezoelektrische Keramikplatte Anwendung, wird der Herstellungsprozeß vorzugsweise entsprechend den Fig. 10A und 10B ausgelegt. Wie in Fig. 10A gezeigt, wird ein Hilfselement 703, beispielsweise aus Epoxidharz, im Umfangsbereich einer scheibenförmigen piezo-



10.10.84

- 14 -

3437862

elektrischen Keramikplatte 701 ausgebildet. Anschließend wird das Hilfselement 703 an den Linien 704 und 705 nach Fig. 10B geschnitten, wobei diese Linien 704, 705 den in Fig. 5C gezeigten Referenzlinien 305 und 306 entsprechen. Damit kann der gewünschte piezoelektrische Verbundwerkstoff durch Schneide- und Füllschritte erhalten werden, die den in den Fig. 5A bis 5H dargestellten Verfahrensschritten entsprechen.

Ah/bi

15.  
- Leerseite -

23

Nummer: 34 37 862  
 Int. Cl.<sup>3</sup>: H 04 R 17/00  
 Anmeldetag: 16. Oktober 1984  
 Offenlegungstag: 23. Mai 1985

FIG. 1

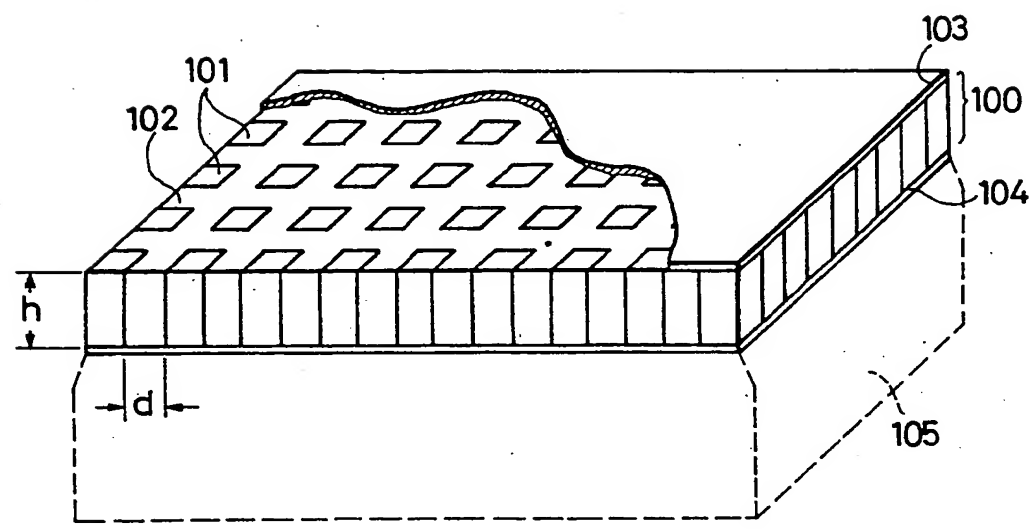


FIG. 2

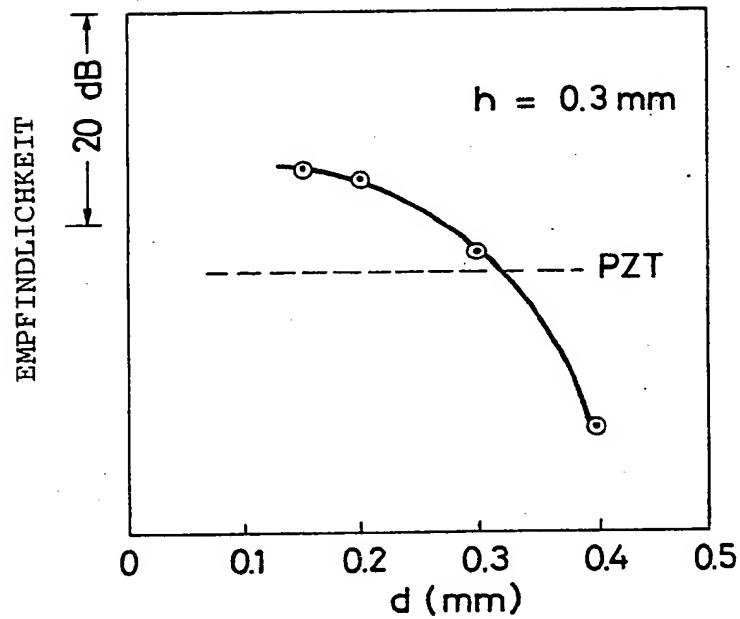


FIG. 3

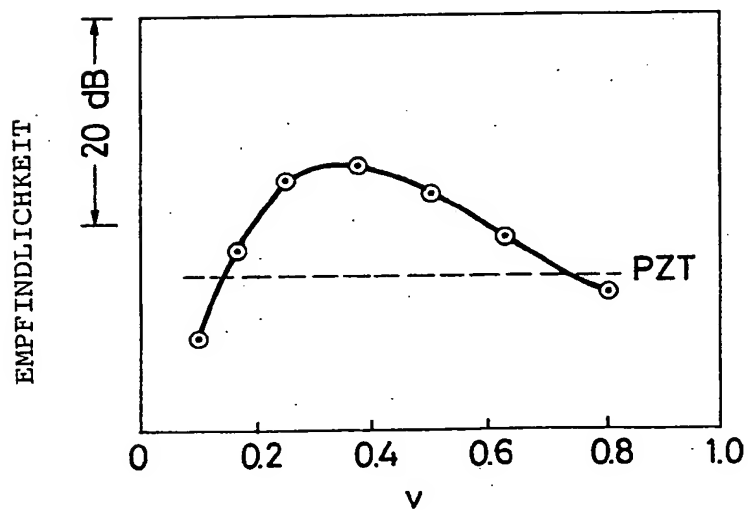


FIG. 4A

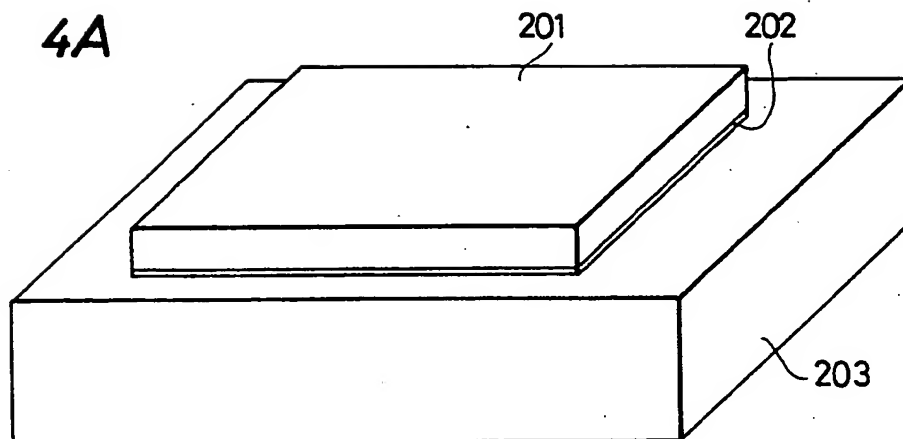


FIG. 4B

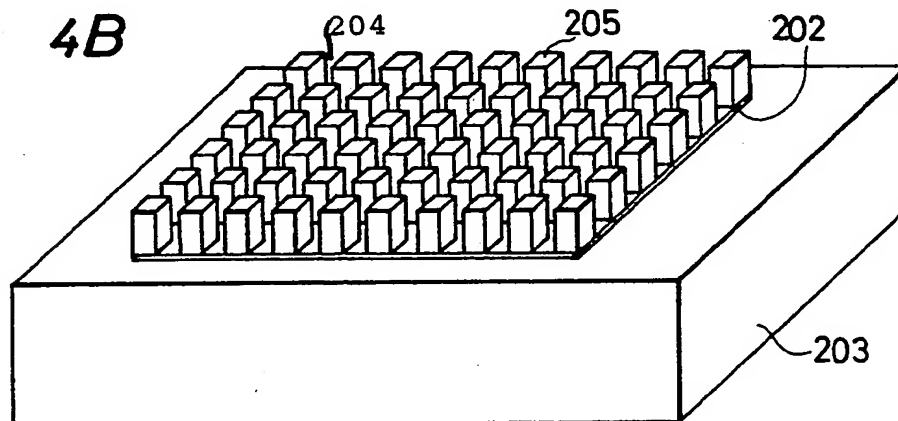
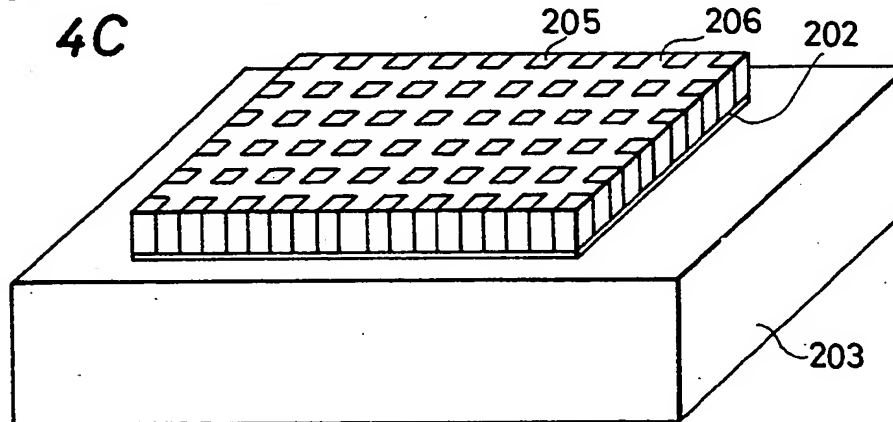


FIG. 4C



18.

3437862

FIG. 5A

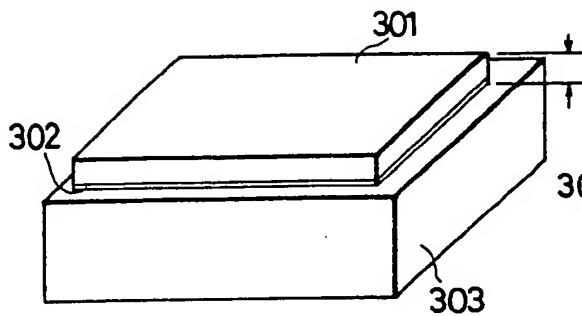


FIG. 5E

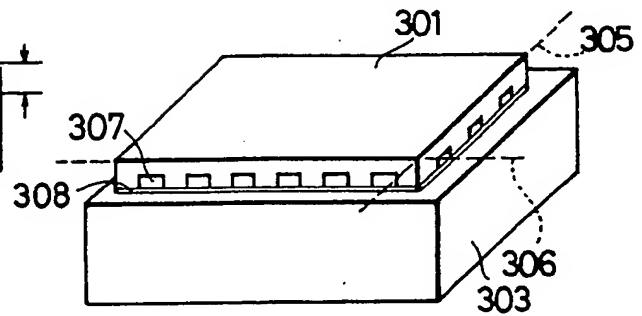


FIG. 5B

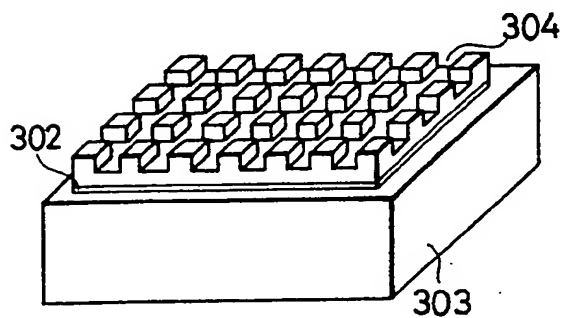


FIG. 5F

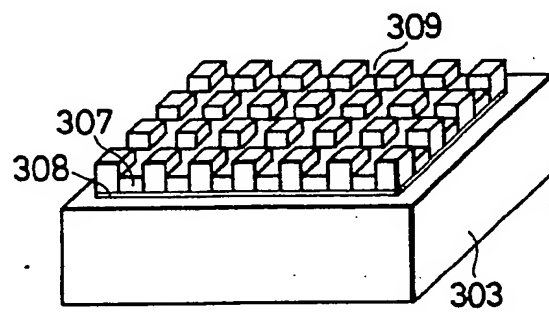


FIG. 5C

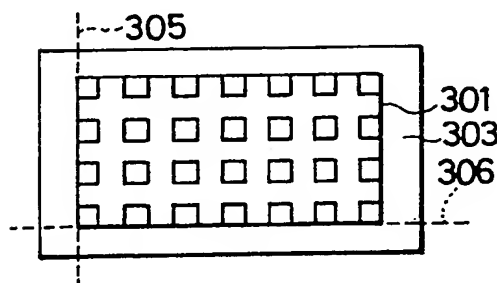


FIG. 5G

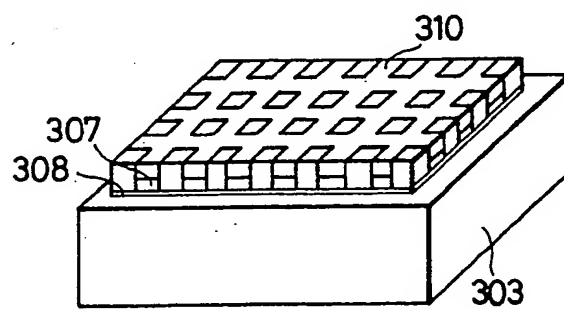


FIG. 5D

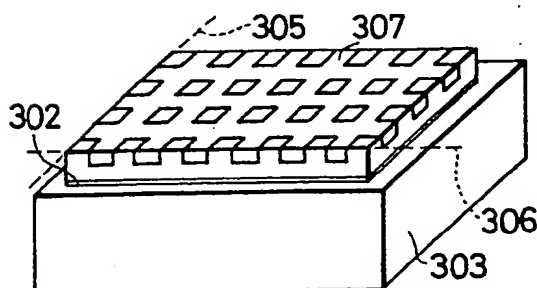
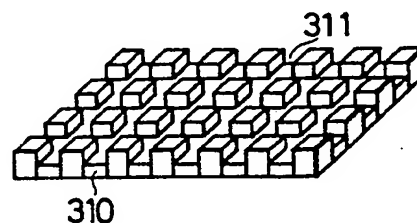


FIG. 5H



29.10.94

3437862

.19.

FIG. 6A

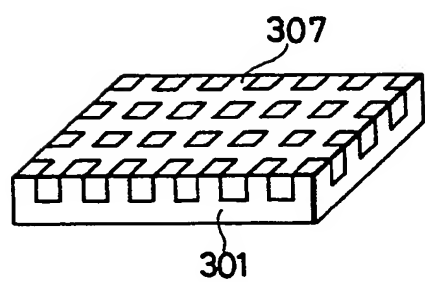


FIG. 6B

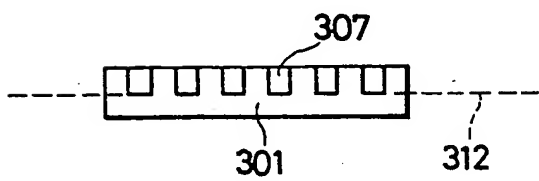


FIG. 7A

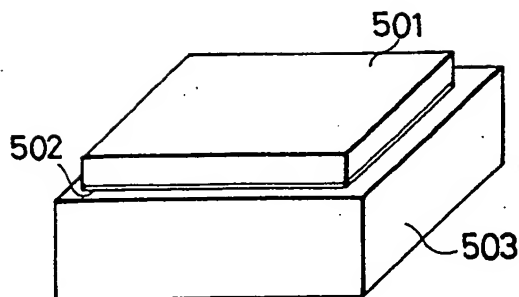


FIG. 7E

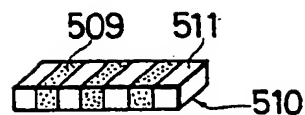


FIG. 7B

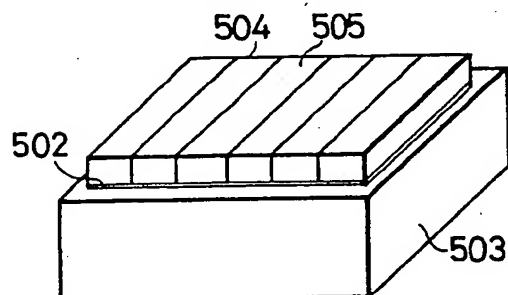


FIG. 7F

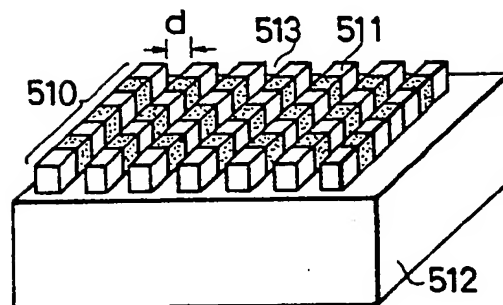


FIG. 7C

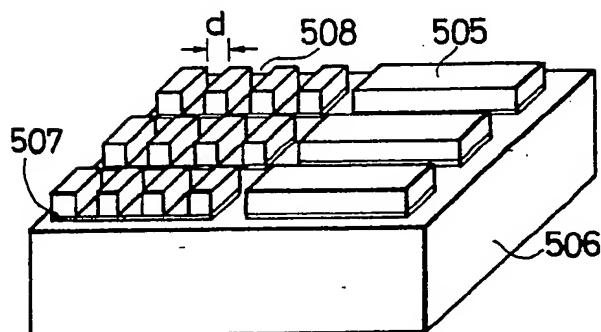


FIG. 7G

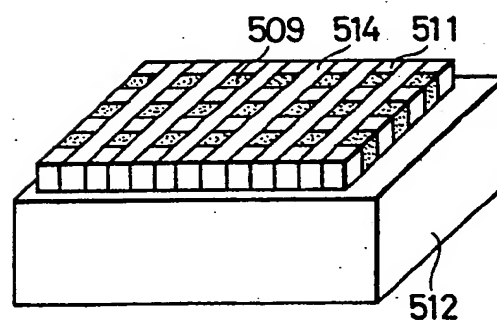
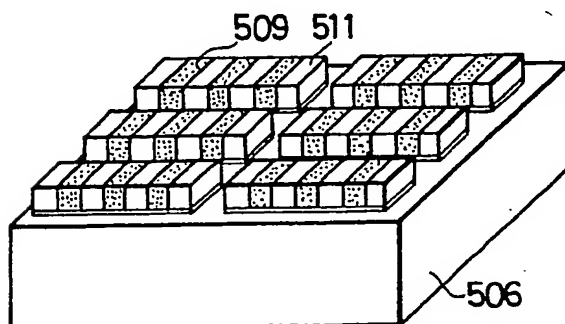


FIG. 7D





20.10.84

3437862

21.

FIG. 8A

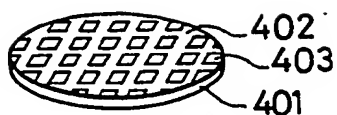


FIG. 8D

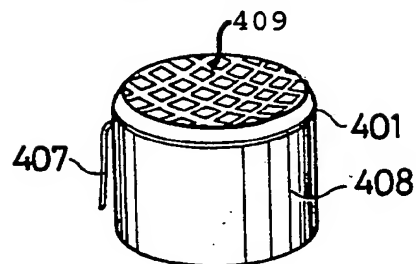


FIG. 8B

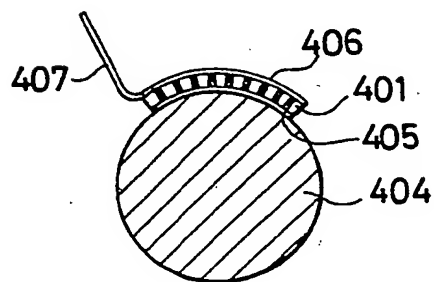


FIG. 8E

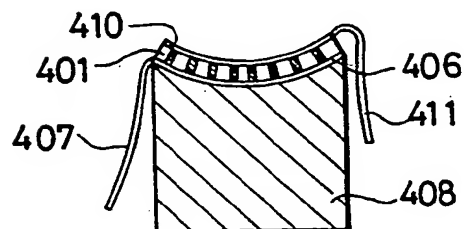


FIG. 8C

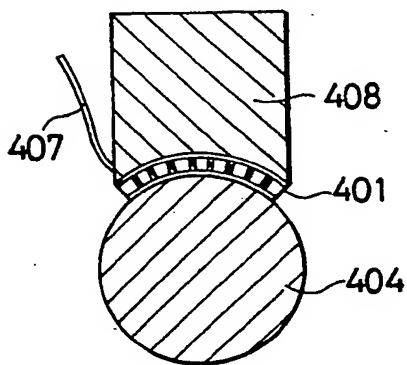
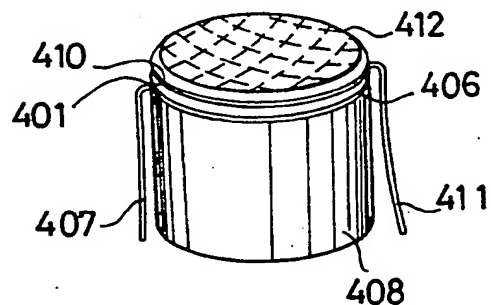


FIG. 8F



22

3437862

FIG. 9

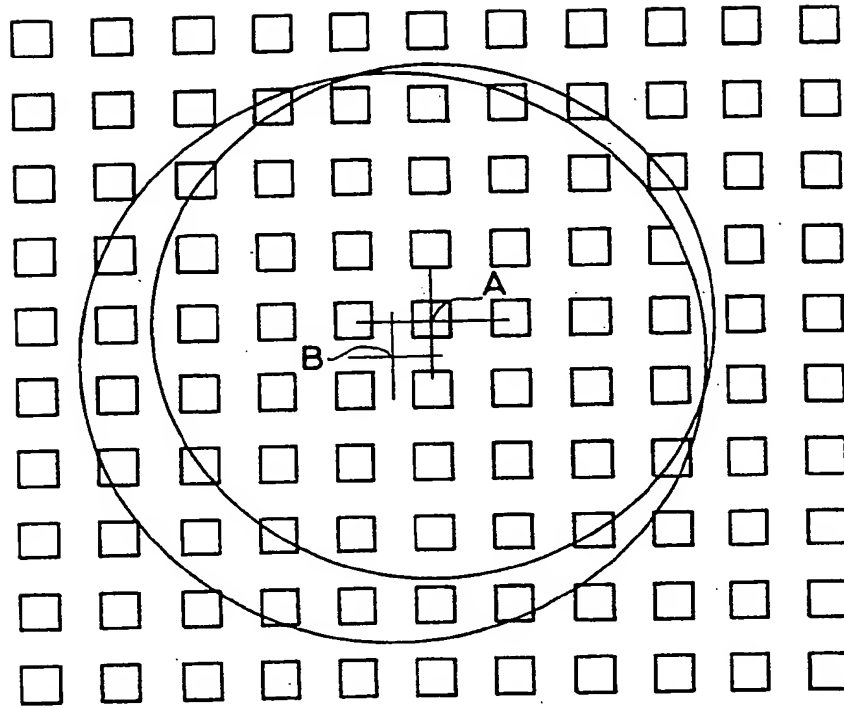


FIG. 10A

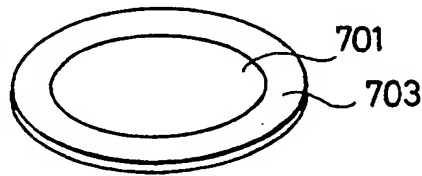


FIG. 10B

